

OVERZICHT EN REVALORISATIE VAN HOLLE VLOERSYSTEMEN UIT HET INTERBELLUM

**Kris Brosens, Gert Heirman en Dionys Van Gemert, Triconsult NV, Lummen
Johan Dereymaeker, T. De Neef Engineering NV, Heist-op-den-Berg**

Abstract

Door de nieuwe technische mogelijkheden en materiaalontwikkelingen kwamen er eind 19^e en begin 20^e eeuw verschillende modulaire vloersystemen op de markt waardoor op eenvoudige wijze lichte, maar toch draagkrachtige vloeroverspanningen konden gerealiseerd worden. De paper geeft een overzicht van de evolutie in vloersystemen en geeft een uniek toepassingsvoorbeeld met specifieke problematiek en revalorisatieaanpak.

1. Inleiding

Gedurende vele eeuwen waren de mogelijkheden om vloeroverspanningen te realiseren beperkt tot het gebruik van gestapelde boogstructuren of tot een systeem van houten moeren kinderbalken. De gestapelde boogstructuren bestaan uit gewelven opgebouwd uit baksteen of natuursteen, figuur 1. Deze structuren zijn relatief zwaar en daardoor vaak enkel gebruikt voor de onderste verdieping. Nadeel hierbij is dat de boogoverspanningen veelal beperkt blijven tot 4 à 5 meter zodat in de ruimte onder het gewelf meestal nog kolommen aanwezig zijn waardoor het gebruik van deze ruimte gehinderd wordt.



Fig. 1: Gewelfstructuur vierkantshoeve Opvelp (Foto Triconsult)



Fig. 2: Moer- en kinderbalken, Abdij Herkenrode (Foto Triconsult)

Een andere opbouw, veelal gebruikt voor de hogere verdiepingen, is deze met houten moeren kinderbalken, figuur 2. De hoofdligger bestaat uit een grote, zware moerbalk waarvan de lengte beperkt wordt door de gebruikte houtsoort en door de manipulatiemogelijkheden op de werf. De overspanningen zijn zelden groter dan 8 à 9 meter. Dwars op de moerbalken

komen de kinderbalken die een kleinere sectie en tussenafstand hebben en waarop de houten vloerbeplanking wordt geplaatst. Op die manier wordt een relatief lichte vloerstructuur bekomen. Nadeel is de grote vervormbaarheid en de geringe stijfheid van dergelijke vloeren. Door kruipvervormingen in het hout zal, bij langdurige belasting, de vervorming gedurende lange tijd blijven toenemen zodat het gebruikscomfort afneemt. Door de geringe stijfheid wordt in de meeste gevallen een (te) flexibele vloer bekomen en kunnen bij het gebruik trillingen optreden ("dansende" vloer). Ook is er meestal weinig demping aanwezig waardoor het akoestisch comfort vaak ondermaats is ("lawaaierige" vloeren). Tot slot zijn houten vloeren ook gevoelig aan aantasting door vocht en insecten.

Na de industriële revolutie in de 18^e-19^e eeuw en de ontwikkeling van nieuwe materialen (o.a. ijzersoorten, staalprofielen, betontechnologie, ...), volgde er ook een hele evolutie in vloersystemen. Hierdoor konden op eenvoudigere wijze steeds grotere overspanningen gerealiseerd worden gebruik makende van deze nieuwe materialen. Deze evolutie wordt bovendien in de hand gewerkt door een dreigend tekort aan hout op vele plaatsen door het steeds hogere bouwtempo en de sterk stijgende omvang van de bouwindustrie. Ook de stijgende bevolkingsdichtheid leidde tot een niet gecompenseerde consumptie van hout als brandstof. O.a. aartshertogin Maria Theresia van Oostenrijk zette daarop een massaal boomplantingsprogramma op in de Zuidelijke Nederlanden onder Oostenrijk-Habsburgs bewind (Bebossingsreglement van de Keizerin, 1764), waaraan wij de vele dennenbossen te danken hebben. Vloeren opgebouwd uit losse, geprefabriceerde elementen verhoogden bovendien aanzienlijk de productiviteit.

2. 19^e Eeuw: nieuwe ongewapende vloersystemen

2.1. Vloeren van gebakken materiaal

Eind 19^e eeuw werden de eerste vloeren gerealiseerd opgebouwd uit dragende liggers (meestal stalen I-profielen, soms ook hout) met daartussen holle platen of bogen in baksteen, troggewelven genaamd. Figuur 3 toont een troggewelfstructuur waarbij boogjes in baksteen worden afgedragen op metalen I-profielen die de hoofddraagstructuur uitmaken. Grote overspanningen en vloeren met een relatief hoog draagvermogen zijn mogelijk, zeker als er nog bijkomende middensteunpunten voorzien worden, figuur 4.

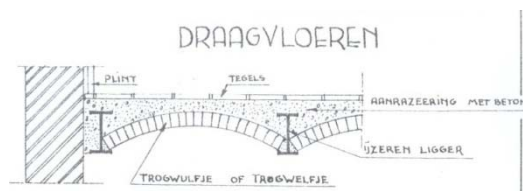


Fig. 3: Opbouw troggewelf [2]



Fig. 4: Troggewelven stallingen kolonie Merksplas (Foto Triconsult)

Later werden er ook varianten ontwikkeld met een rechte vloerplaat, opgebouwd uit holle en tapse elementen uit baksteen en gemetseld in halfsteens verband tussen stalen draagliggers, figuur 5. Door de specifieke vorm van de elementen (tand en groef systeem)

konden dunnere vlakke plaatvloeren gerealiseerd worden. Voor kleine overspanningen volstond de geschrante, halfsteense metseling voor het draagvermogen, zodat geen extra wapening in de voegen nodig was. Men spreekt in dit verband ook over “zolderingsteen”.

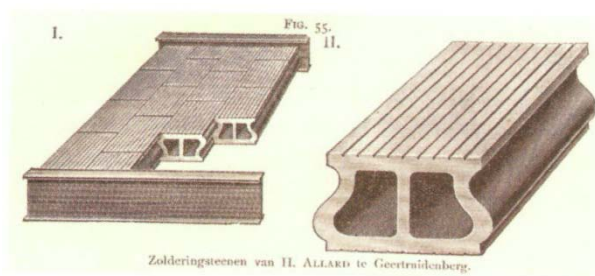


Fig. 5: Zolderingstenen tussen metalen I-liggers [1]

Soms werd ook gebruik gemaakt van houten draagliggers met daartussen rechte of gebogen holle elementen uit baksteen (tussenafstanden tot 1m), figuur 6. Deze elementen werden d.m.v. een veranding verankerd in de houten balken. In het midden tussen de houten balken steunen de twee elementen op elkaar af. Om een goed drukcontact mogelijk te maken en het geheel op te spannen wordt hiervoor een bijkomende wig aangebracht. Dit vloersysteem is echter niet op grote schaal gebruikt. De houten balken blijven immers gevoelig voor vocht- en insectenaantasting. Bovendien is er een reëel risico op scheurvorming in de brosse bakstenen elementen t.g.v. een verschillende thermische en hygrische werking van het hout (krimpen, zwellen) t.o.v. de baksteen. De aanzienlijke mogelijke krimp in het hout (tot 10% tangentieel en 5% radiaal) kan immers leiden tot belangrijke vervormingen in de gewelven.

Figuur 7 toont een structuur met massieve troggewelven in baksteen aangezet op zware houten balken (op hun punt gezet) als langsliggers.

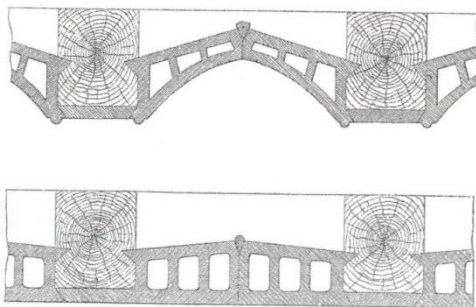


Fig. 6: Houten moerbalken in combinatie met bakstenen zolderingsteen [1]



Fig. 7: Houten troggewelven, Tuytermolen Herkenrode (Foto Triconsult)

2.2. Andere materialen: beton en glas

Door de evolutie en de ontwikkeling in de cementindustrie konden ook (ongewapende) betonelementen gebruikt worden. Om gewicht te sparen waren deze elementen meestal hol uitgevoerd, figuur 8. De tussenafstand tussen de draagliggers was beperkt tot de lengte van de betonelementen en afhankelijk van het draagvermogen van de (ongewapend) betonblokken.

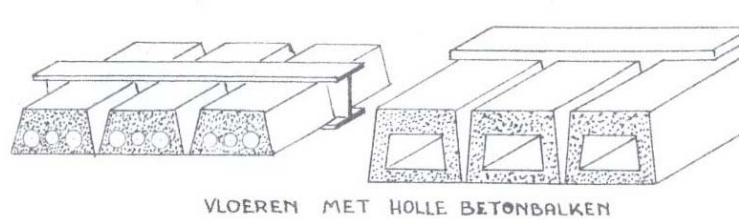


Fig. 8: Vloeren opgebouwd met holle betonblokken [1]

Al snel werden ook varianten met glasdallen in een metalen (of betonnen) raamwerk ontwikkeld waardoor gemakkelijk daglicht kon toetreden in de onderliggende ruimtes, figuur 9 en figuur 10.

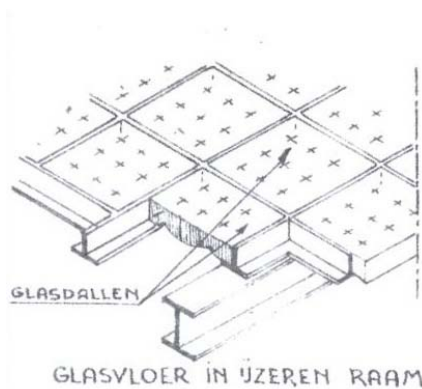


Fig. 9: Glasvloer in ijzeren raam [2]

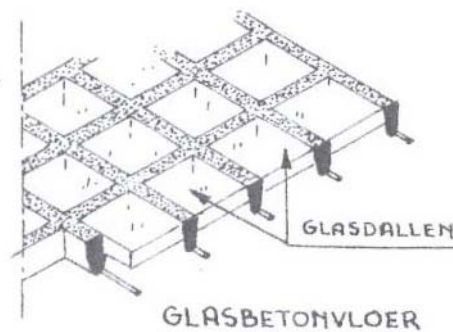


Fig. 10: Glasbetonvloer [2]

Figuur 11 toont een voorbeeld van glasdallen in een ijzeren raamwerk ingewerkt in een vloerplaat (Zwembad Veldstraat te Antwerpen, gebouwd in 1932, restauratie 2006-2008, monumentenprijs 2009). Door het werken met de glasdallen was het mogelijk om daglicht van de bovenliggende verdieping te brengen tot in de douches en kleedruimtes van het zwembad.



Fig. 11: Zwembad Veldstraat te Antwerpen, glasdallen ingewerkt in vloerplaat (Foto Triconsult)



Fig. 12: James Ensorgalerie te Oostende, glasdallen in gebogen dakstructuur (Foto Triconsult)

Een andere veel gebruikte toepassing van glasdallen is deze in gebogen dakstructuren, zoals gebruikt bij de James Ensorgalerie in Oostende (momenteel in restauratie), figuur 12.

3. Evolutie naar gewapende vloersystemen

Vanaf de jaren 1930 werden de dragende liggers meer en meer vervangen door zelfdragende gewapende vloersystemen. Op die manier konden de lange en zware dragende liggers vermeden worden.

3.1. Niet voorgespannen systemen

In Nederland werden in de jaren 1930 verschillende gewapende vloersystemen ontwikkeld door Nehobo ("Nederlandsche Holle Bouwsteen"), figuur 13 en figuur 14. Holle bakstenen elementen worden op een bekisting geplaatst, waarna in de groeven tussen de elementen de nodige wapening gelegd wordt. Vervolgens wordt het geheel opgestort met een cementgebonden (druk)laag. Verschillende geometrieën en opbouwen zijn mogelijk. Gelijkaardige ontwikkelingen vonden plaats in België. Op kleinere werven werden deze zelfdragende pottenwelfsels ook op de werf geprefabriceerd in de gewenste aantallen en lengtes.

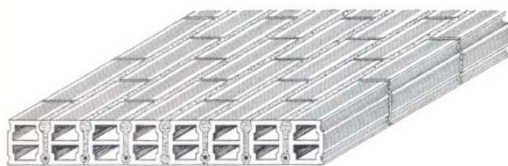


Fig. 13: NeHoBo systeemvloer [1]

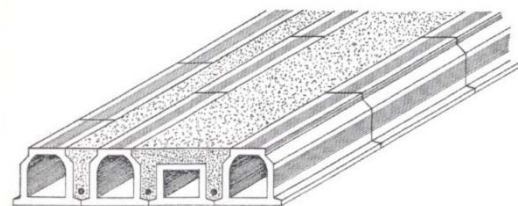


Fig. 14: NeHoBo bekistingsteen [1]

Ook andere leveranciers ontwikkelden hun eigen vloersystemen. Figuur 15 toont een systeemvloer ontwikkeld door Perfora (1941). In sommige gevallen werd als wapening een metalen lat gebruikt in plaats van de klassieke ronde staaf, figuur 16. Dergelijke platte lat was heel gebruikelijk als beugelwapening in het systeem "Hennebique" (François Hennebique 1842-1921).

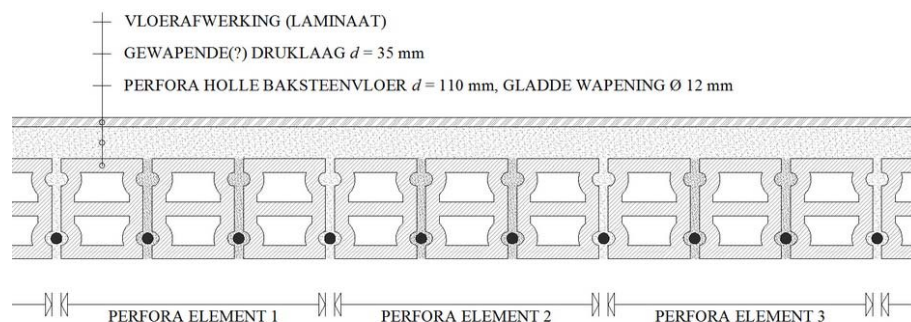


Fig. 15: Opbouw Perfora vloer (Tekening Triconsult)

Met behulp van gewapende systeemvloeren konden overspanning tot 5 à 6 meter gerealiseerd worden met een relatief beperkte vloerdikte. Bovendien is ook de plaatsing een stuk eenvoudiger door de hanteerbaarheid en het lichte gewicht van de verschillende elementen. Door de aanwezigheid van holle ruimtes hebben de vloeren daarenboven ook een gunstige isolerende werking.



Fig. 16: Perforavloer met platte lat als wapening (Foto Triconsult)

3.2. Voorgespannen geprefabriceerde systemen

In een verdere evolutie werden er systemen ontwikkeld met voorgefabriceerde lichte dragende liggers uit gewapend metselwerk met daartussen opnieuw bakstenen elementen. (In België vaak aangeduid als “potten en balken”). De dragende liggers werden hierbij al snel voorzien van voorgespannen wapening waardoor deze elementen licht en hanteerbaar konden gehouden worden (vanaf de jaren 1950).

Figuur 17 en figuur 18 toont de systeemvloer “Stalton” waarbij holle bakstenen elementen (ook wel “potten” of “broodjes” genoemd) geplaatst worden tussen voorgespannen bakstenen liggers. Vervolgens wordt het geheel voorzien van een (al dan niet gewapende) betonnen druklaag. De voorgespannen Stalton liggers zijn voorzien van uitstekende beugels dewelke mee ingebetonneerd worden in de druklaag. De voorgespannen liggers worden ook veelvuldig toegepast als lateibalken.

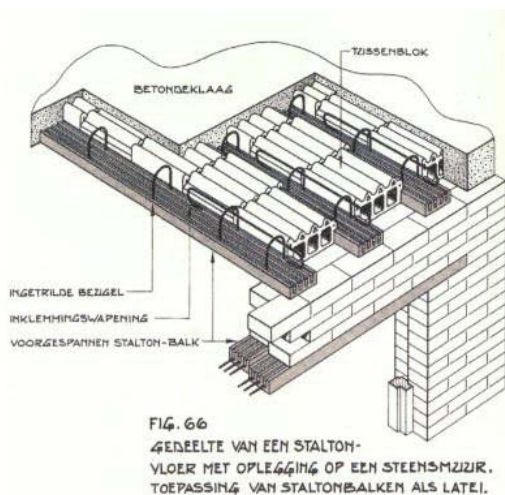


Fig. 17: Stalton vloersysteem met voorgespannen balkjes [1]

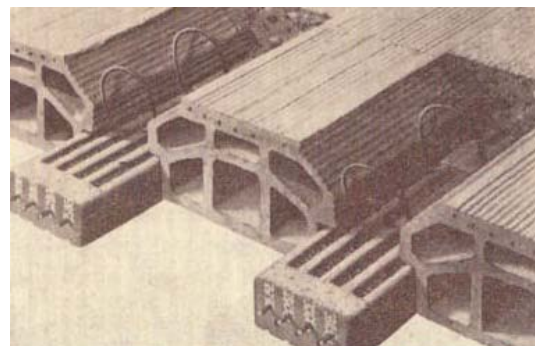


Fig. 18: Stalton vloeropbouw [1]

Tot op de dag van vandaag worden dergelijke vloersystemen nog regelmatig toegepast in de huidige woningbouw, figuur 19 en figuur 20. Het voordeel van dergelijke systemen is dat onderaan overal hetzelfde materiaal (baksteen) zichtbaar is, hetgeen tevens de kans op scheurvorming vermindert.



Fig. 19: Stalton vloersysteem in de huidige woningbouw [3]



Fig. 20: Onderzijde van Stalton vloersysteem [3]

4. Ontwikkeling naar betonnen draagsystemen

Met de ontwikkeling van de betontechnologie wordt ook al vlug gebruik gemaakt van betonnen draagelementen (al dan niet voorgespannen) in plaats van bakstenen liggers. Reeds in de jaren 1920 konden hiermee overspanningen tot meer dan 10 m gerealiseerd worden.

4.1. Betonnen draagliggers

Figuur 21 toont de systeemvloer “Herbst” ontwikkeld vanaf 1903. Dit systeem bestaat uit gewapende betonnen T-balken (tussenafstand ca 25cm) met daartussen holle ongewapend betonnen elementen. Na de plaatsing werd het geheel voorzien van een betonnen druklaag waardoor alle openingen en gleuven opgevuld werden. Ook vulstenen in metselwerk zijn mogelijk, figuur 22.

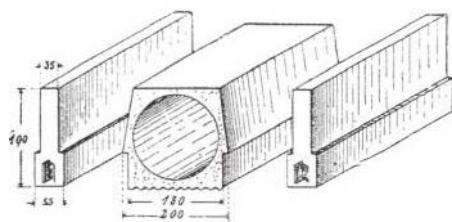


Fig. 21: Systeemvloer bestaande uit betonnen elementen [1]



Fig. 22: Betonnen liggers met metselwerk invulling [4]

4.2. Ter plaatse gestorte beton op bekistingselementen

Een andere techniek bestaat erin om ter plaatse een betonnen vloerplaat te storten, gebruik makende van lichte, vaak holle, bekistingselementen, figuur 23. Aldus wordt in feite een betonnen ribbenvloer gevormd. De bekistingselementen hebben geen dragende functie maar beperken, door de grote holle ruimte, wel het gewicht van de vloeropbouw.

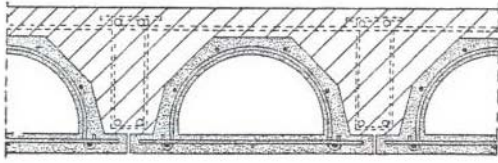


Fig. 23: Betonvloerplaat gestort op holle bekistingselementen [1]



Fig. 24: Betonvloer op Polystyreenblokken [1]

Later worden ook lichte polystyreenblokken gebruikt waarop dan de uiteindelijke betonvloer gestort wordt. Het voordeel hiervan is tweemaal: enerzijds is dit een aanzienlijke gewichtsbesparing t.o.v. een massieve betonplaat en anderzijds zorgt de polystyreen ook voor uitstekende isolerende eigenschappen.

4.3. Verdere ontwikkeling na WOII

Door de beschikbaarheid van modernere en krachtigere hijswerktuigen en de toegenomen transportmogelijkheden, kwamen ook zwaardere geprefabriceerde vloerelementen, al dan niet voorgespannen, op de markt, figuur 25, en verloren de flexibele vloersystemen die ter plaatse werden samengesteld aanzienlijk aan belang.

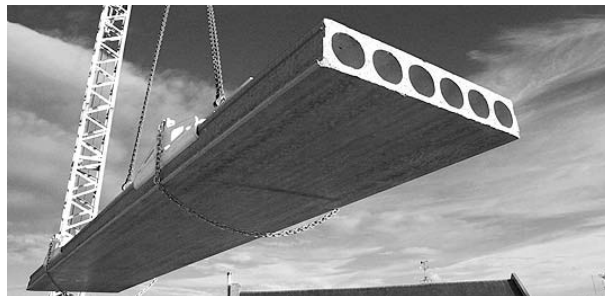


Fig. 25: Na WOII nam het gebruik van geprefabriceerde vloerelementen een grote vlucht

5. Depot Leuven - dakstructuur uit metselwerkelementen

Recentelijk werd in Leuven het muziekcentrum “Het Depot” gerestaureerd. Hierbij werd de monumentale dakstructuur bestaande uit gewapende metselwerk elementen bewaard.

Geschiedenis [5]

De geschiedenis van het gebouw gaat terug tot 1912 toen op de plaats van het huidige Depot het “Théâtre Du Nord” werd geopend. Snel daarna, in augustus 1914, wordt de zaal grotendeels vernield door een brand. De zaal wordt nog tijdens de oorlog opnieuw opgebouwd en in 1919 geopend als “Eden Théâtre”. De zaal had toen een capaciteit van 1036 plaatsen. Later werd dit aantal, om veiligheidsredenen, teruggeschroefd tot 620. Op 18 mei 1944 slaat het noodlot opnieuw toe en wordt de zaal getroffen door een Brits luchtbombardement. Na WOII wordt het gebouw heropgebouwd en getransformeerd tot een stijlvolle bioscoop met ca 1000 plaatsen (opening in 1950). Onder druk van de grote

bioscoopketens sluit de zaal in 1980 definitief de deuren. Nadien werd de zaal nog gebruikt als muziek- en televisiestudio. In 2009-2012 werd het gebouw grondig gerenoveerd en omgevormd tot muziekcentrum “Het Depot”. De plechtige opening vond plaats in november 2012.

Originele structuur [6]

De monumentale dakstructuur, daterend van de heropbouw in de jaren 1945-1950 naar vooroorlogs model (1919), bestaat uit boogvormige spanten waarbij de overspanning varieert tussen 19.3m en 25.8m, figuur 26. De bogen zijn opgebouwd als vakwerkstructuur bestaande uit geprefabriceerde bakstenen elementen, figuur 27.



Fig. 26: Het Depot: Spantstructuur (Foto Triconsult)



Fig. 27: Detail vakwerkopbouw (Foto Triconsult)

De verschillende elementen zijn onderling verbonden door wapening gelegd in de voegen waarna het geheel voorzien is van een cementgebonden druklaag. De betonnen moerbalk onderaan de boog draagt de zoldervloer en fungeert tevens als trekker voor het opnemen van de spatkrachten afkomstig van de boog. Door middel van metalen trekkers is de moerbalk opgehangen aan de boogstructuur. De vloerstructuur zelf is opgebouwd uit kinderbalken met daartussen vloerelementen in baksteen, figuur 28 en figuur 29. De vloerplaat zelf bevat geen wapening en oefent aldus geen dragende functie uit. De kinderbalken zijn wel via wapening verbonden aan de moerbalken.

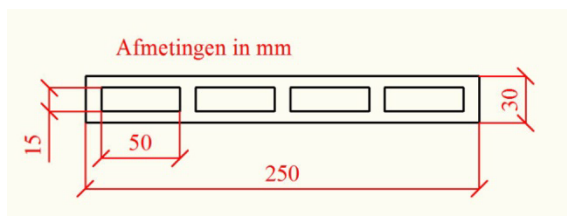


Fig. 28: Doorsnede element vloerplaat



Fig. 29: Onderzoek vloerplaat (Foto Triconsult)

De verdere dakopbouw bestaat eveneens uit bakstenen elementen: gordingen en beplating (analoog aan de vloerplaten), figuur 30. Aan de buitenzijde is een waterdichte dakafwerking voorzien, figuur 31.



Fig. 30: Dakopbouw: gordingen en beplating (Foto Triconsult)



Fig. 31: Dakafwerking aan de buitenzijde (Foto Triconsult)

Bij het voorafgaandelijke onderzoek in situ kon vastgesteld worden dat er her en der schade aan het metselwerk aanwezig was (afbarsten van elementen, vervormingen in de boogstructuur, loskomen beplating t.o.v. de gordingen).

Standzekerheidsanalyse [6]

Op de bestaande dakstructuur werd een standzekerheidsanalyse (eindige elementenanalyse) uitgevoerd wat resulteerde in volgende bevindingen:

- Zowel de onderregel als de bovenregel van de spantboog werken in druk, hetgeen geheel logisch is gezien zijn boogvorm. De optredende drukspanningen liggen aan de hoge kant volgens de hedendaagse normen.
- In de diagonale elementen werken zowel trekspanningen als drukspanningen, afhankelijk van het belastingsgeval (al dan niet inrekenen van de windbelasting). De opname van de drukspanningen is geen probleem. De trekspanningen dienen te worden opgenomen door de aanwezige wapening.
- De metalen trekkers waarmee de moerbalken opgehangen zijn, werken in trek. Hierbij zijn vooral het eigengewicht en de vloerbelasting van belang.
- De optredende normaalkrachten in de moerbalk (= trekkracht afkomstig van de spatkracht van de boogstructuur) moeten door de inwendige wapening worden opgenomen.
- De vervormbaarheid van de dakstructuur is zeer aanzienlijk zeker tengevolge van de windbelasting, figuur 32. Doordat deze belasting bovendien variabel is kunnen deze vervormingen gemakkelijk aanleiding geven tot schade aan de brosse terracotta potten (vermoeding).

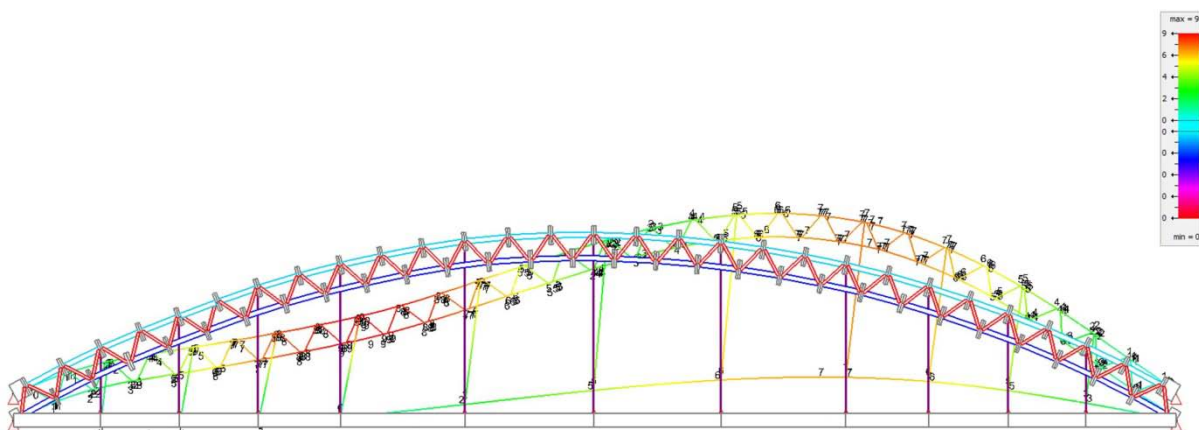


Fig. 32: Vervormbaarheid boogstructuur t.g.v. de windbelasting - d_{xyz} (mm)

Bovenstaande vaststellingen hebben geleid tot volgende structurele oplossingen en aanbevelingen:

- Gezien de hoge spanningen in sommige elementen en de grote vervormbaarheid werd de boogstructuur bij de restauratie versterkt en verstijfd. Hierbij werd een metalen kokerstructuur aangebracht onder de onderregel van de boogstructuur en ermee verankerd t.h.v. de knopen. De bestaande moerbalk werd verbonden met de nieuwe kokerstructuur d.m.v. nieuw te voorziene trekkers.
- Herstelling, waar nodig, van het beschadigde metselwerk d.m.v. injecties en opgieten met gietmortel

Uitvoering

Figuur 33 toont een beeld van de plaatsing van het bijkomende kokerprofiel onder de onderregel van de boog. De kokerstructuur werd samengesteld door verschillende hanteerbare delen samen te voegen. De ontstane opening tussen de koker en de metselwerkboog werd hierbij opgevuld met een gietmortel. De verankering tussen beide elementen werd gerealiseerd door beugels aan te brengen in CFRP (koolstofvezelversterkte kunststoflaminaten), figuur 34.



Fig. 33: Plaatsing stalen koker (Foto Triconsult)



Fig. 34: Detail omwikkeling met CFRP (Foto Triconsult)

Op beide uiteinden werden de kokers verankerd met het bestaande eindblok, figuur 35. Figuur 36 geeft het beeld van het eindresultaat.



Fig. 35: Detail eindverankering (Foto Triconsult)



Fig. 36: Eindresultaat boogversterking en -verstijving (Foto Triconsult)

6. Besluit

Door de industrialisatie en het beschikbaar komen van nieuwe technieken kende de ontwikkeling van aangepaste en flexibele vloersystemen een grote bloei op het einde van de 19^e en het begin van de 20^e eeuw. Lichte, doch draagkrachtige vloeren met aanzienlijke overspanningen konden op een efficiënte wijze gerealiseerd worden. Ook het gebruikscomfort (akoestisch, isolerend vermogen) nam hierbij toe.

Ook in beschermde monumenten zijn dergelijke vloersystemen vaak aanwezig. Dit betekent dat bij de restauratie van deze monumenten ook een analyse naar de aantasting en het draagvermogen van deze vloeren dient uitgevoerd te worden waaruit dan de nodige herstellingen en/of versterkingen volgen.

7. Referenties

- [1] Bot Piet, *Vademecum - Historische bouwmaterialen, installaties en infrastructuur*, Nederlands Openluchtmuseum, Uitgeverij Veerhuis, 2009
- [2] De Schrijver H., *Beknopte technologie van gebouw & weg*, v.z.w. Vereenigde landmeters van Oost-Vlaanderen, Gent
- [3] Stalton vloersystemen: www.ploegsteert.be
- [4] Rector vloersystemen: www.koraton.be
- [5] Geschiedenis Théâtre du Nord - Eden Théâtre - Het depot: www.cinemaleuven.be
- [6] Dossier Triconsult D/00685/09, *Het Depot Leuven - Onderzoek bestaande dakstructuur*, 10/08/2009 (intern rapport)